

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV MATERIÁLOVÝCH VĚD A INŽENÝRSTVÍ**

INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

**KOROZIVZDORNÉ A ŽÁRUVZDORNÉ OCELI**

CORROSION RESISTANT AND HEAT RESISTANT STEELS

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Petr Kříž

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

Ing. Eva Molliková, Ph.D., Paed IGIP

BRNO 2017

## Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav materiálových věd a inženýrství

Student: **Petr Kříž**

Studijní program: Strojírenství

Studijní obor: Základy strojního inženýrství

Vedoucí práce: **Ing. Eva Molliková, Ph.D., Paed IGIP**

Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### Korozivzdorné a žáruvzdorné oceli

#### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Student řešeršní formou pojedná o korozivzdorných a žáruvzdorných ocelích a o možnostech jejich použití v různých oborech.

#### Cíle bakalářské práce:

Student má ve své práci:

- definovat korozivzdorné a žáruvzdorné oceli
- zmínit se o jejich chemickém složení, tepelném zpracování a struktuře
- pojednat o možnostech využití daných ocelí v praxi

#### Seznam literatury:

Černý, M. Korozní vlastnosti kovových konstrukčních materiálů. I. Vydání. Praha: SNTL, 1984, p.264.

Bartoníček, R. a kol. Koroze a protikoroze ochrana kovů. I. Vydání. Praha: Akademia ČSAV, 1977, p.720.

Číhal, V. Mezikrystalická koroze ocelí a slitin. Praha: SNTL, 1994.

Schweitzer P. A. Corrosion Technology. New York, 2004.

Revie, R. W. and H. H. Uhlig. Inhibitors and Passivators, in Corrosion and Corrosion Control: An Introduction to Corrosion Science and Engineering. Fourth Edition. USA: John Wiley & Sons, Inc., 2008. ISBN: 9780471732792.

Davis, J. R. Corrosion: Understanding the Basics. USA: ASM, 2000. ISBN: 978-0-87170-641-6.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Ivo Dlouhý, CSc.

ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.

děkan fakult

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá korozivzdornými a žáruvzdornými oceli. Rešeršní formou pojednává o jejich chemickém složení, tepelném zpracování, struktuře a o možnostech jejich praktického využití v různých oborech. Její část je také zaměřena na korozi obecně, na její typy, ekonomické dopady, na druhy korozního napadení a na činitele, které korozi ovlivňují.

### **Klíčová slova**

Korozivzdorné oceli, žáruvzdorné oceli, koroze

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis deals with stainless steels and heat resistant steels. It speaks about their chemical composition, heat treatment, structure and options of its practical usage in various fields. One of its parts is also focused on corrosion in general, corrosion types, economic impacts, kinds of corrosion attacks and factors which affect her.

### **Key words**

Stainless steels, heat resistant steels, corrosion

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KŘÍŽ, P. *Korozivzdorné a žáruvzdorné oceli*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 49 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Eva Molliková, Ph.D., Paed IGIP.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Korozivzdorné a žáruvzdorné oceli** zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 8. 4. 2017

---

Petr Kříž

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto Ing. Evě Mollikové, Ph.D., Paed IGIP za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

# OBSAH

ABSTRAKT .....	4
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE .....	5
PROHLÁŠENÍ .....	6
PODĚKOVÁNÍ .....	7
OBSAH .....	8
ÚVOD .....	10
1. VLASTNOSTI KOROZIVZDORNÝCH A ŽÁRUVZDORNÝCH OCELÍ .....	11
1.1. Rozdělení korozivzdorných a žáruvzdorných ocelí .....	11
2. KOROZE .....	12
2.1. Význam znalostí o korozi .....	12
2.2. Degradací procesy způsobené korozi .....	12
2.3. Typy koroze .....	13
2.3.1. Chemická koroze .....	13
2.3.2. Elektrochemická koroze .....	14
2.4. Druhy korozního napadení .....	15
2.4.1. Rovnoměrná koroze .....	15
2.4.2. Bodová koroze .....	16
2.4.3. Štěrbínová koroze .....	17
2.4.4. Mezikrystalová koroze .....	17
2.4.5. Selektivní koroze .....	18
2.4.6. Korozní praskání .....	19
2.4.7. Další typy korozního napadení .....	19
2.5. Hlavní činitele ovlivňující korozi .....	20
2.5.1. Stav materiálu .....	20
2.5.2. Stav korozního prostředí .....	20
2.5.3. Konstrukce výrobku .....	21
3. STUPNĚ KOROZNÍHO PROSTŘEDÍ .....	22
4. VYUŽÍVÁNÍ KOVOVÝCH MATERIÁLŮ .....	23
4.1. Obrana proti korozi .....	23
5. KOROZIVZDORNÉ OCELI A ŽÁRUVZDORNÉ OCELI .....	25
5.1. Korozivzdorné oceli .....	25
5.1.1. Pasivace .....	25
5.1.2. Vlastnosti a chemické složení korozivzdorných ocelí .....	27
5.2. Žáruvzdorné oceli .....	29
5.2.1. Chemické složení žáruvzdorných ocelí .....	29



5.3. Schaefflerův diagram .....	31
5.4. Vliv legujících prvků na vlastnosti oceli .....	32
5.4.1. Chrom.....	32
5.4.2. Nikl.....	32
5.4.3. Mangan.....	33
5.5. Značení korozivzdorných a žáruvzdorných ocelí .....	33
5.5.1. Značení dle ČSN normy .....	33
5.5.2. Značení dle ČSN EN 10 027-1.....	34
5.5.3. Značení dle ČSN EN 10 027-2.....	34
6. SKUPINY KOROZIVZDORNÝCH A ŽÁRUVZDORNÝCH OCELÍ.....	35
6.1. Feritické oceli .....	35
6.1.1. 13 % chromové feritické oceli .....	36
6.1.2. 17 % chromové feritické oceli .....	36
6.1.3. 25 % chromové oceli.....	37
6.1.4. Superferity.....	37
6.2. Martenzitické oceli .....	37
6.2.1. Martenzitické oceli s niklem .....	39
6.2.2. Martenzitické oceli bez niklu .....	39
6.2.3. Supermartenzity .....	40
6.3. Austenitické oceli .....	40
6.4. Dvoufázové oceli .....	41
6.5. Precipitačně vytvrditelné oceli.....	43
6.5.1. Martenzitické precipitačně vytvrditelné oceli .....	43
6.5.2. Austenitické precipitačně vytvrditelné oceli .....	43
ZÁVĚR.....	45
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	46
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	49

## ÚVOD

Tato závěrečná práce se zabývá korozivzdornými a žáruvzdornými oceli – tedy oceli, které mají odolnost proti korozi, a to za normální i zvýšené teploty. To však neznamená, že by měly proti korozi úplnou imunitu – jen u nich probíhá pomaleji než u jiných ocelí, což vyvažuje jejich vyšší cenu. Je obtížné pro konkrétní aplikaci správně zvolit značku oceli, protože při volbě musíme dbát nejen na požadované mechanické vlastnosti, ale i na vlastnosti prostředí (teplotu a tlak).

Korozivzdorné a žáruvzdorné oceli jsou využívány v mnoha odvětvích. Našly použití ve farmaceutickém průmyslu, v potravinářském průmyslu, v mnoha medicínských aplikacích, také v automobilovém průmyslu apod. Setkat se s nimi můžeme každodenně, protože jsou z nich vyrobeny i předměty běžné domácí potřeby, jako dřezy (jak lze vidět na **obr.1 [23]**), přístroje a nádoby. Oceli vysoké jakosti jsou využívány i v extrémnějších podmínkách, například v leteckém průmyslu (hydraulické systémy, protipožární přepážky [7]).



Obr.1 - Dřez z korozivzdorné oceli [23]

# 1. VLASTNOSTI KOROZIVZDORNÝCH A ŽÁRUVZDORNÝCH OCELÍ

Pod pojmem korozivzdornost rozumíme odolnost vůči korozi (elektrochemické) za běžných teplot (20 °C). Pod pojmem žáruvzdornost rozumíme odolnost vůči korozi (chemické) za zvýšených teplot (nad 600 °C). Těchto vlastností je dosaženo díky vysokému obsahu legur. [4]

Korozivzdorné oceli jsou takové, které jsou schopny pasivace. Podmínkou pro pasivaci je obsah minimálně 11,94 % chromu rozpuštěného v tuhém roztoku. Žáruvzdornosti je dosaženo pomocí přísadových prvků, ale ne pasivací tuhého roztoku. Je jí dosaženo pomocí ochranného povlaku oxidů. Mezi pozitivně působící přísadové prvky patří například chrom, hliník nebo křemík. [4]

## 1.1. Rozdělení korozivzdorných a žáruvzdorných ocelí

Podle použití tyto oceli dělíme na: [27]

- Korozivzdorné
- Žáruvzdorné
- Žárupevné

Můžeme je dělit i podle struktury: [27]

- Feritické
- Martenzitické
- Austenitické
- Duplexní (neboli dvoufázové)

Podle chemického složení jsou rozděleny na: [27]

- Vysocelegované chromové oceli
- Chrom-niklové oceli (které se dále dělí na stabilizované a nestabilizované)
- Chrom-manganové (nikl je u těchto ocelí nahrazen manganem z ekonomických důvodů)
- Dvoufázové (duplexní)
- Vytvrditelné

## 2. KOROZE

### 2.1. Význam znalostí o korozi

Koroze kovů (**obr.2 [24]**), je čím dál závažnějším celosvětovým ekonomickým problémem. Agresivita přírodního korozního prostředí (atmosféra nebo voda) stoupá kvůli průmyslové a zemědělské výrobě. [1]

Vliv koroze se dá snižovat správnou volbou kovových materiálů, což je důležité vzhledem k stále se zhoršující dostupnosti řady surovin, zvyšování jejich cen a klesající zásobě kovů v celosvětovém měřítku. Také z ekonomických důvodů je nutné snižování spotřeby kovů u strojírenských výrobků, zatím je ale tento požadavek jen v omezeném rozsahu řešitelný náhradou kovů jinými materiály. Z tohoto důvodu nejsou dnes žádoucí nejen předčasné znehodnocování kovových zařízení korozí, ale ani postupy, kdy se např. dlouhodobé požadavky na pevnost konstrukcí řeší při jejich dimenzování tzv. přídávky na korozi. To je i v přímém rozporu se současnými snahami o snižování hmotnosti konstrukcí a strojů. [1]

Za účelem správného využívání kovů je z mnoha důvodů nutné systematicky rozšiřovat poznatky o korozi. [1]



Obr. 2 - Hřebíky napadené korozí [24]

### 2.2. Degradální procesy způsobené korozí

Materiály, za kterých jsou tvořeny konstrukce, stroje a strojní zařízení, jsou vystaveny nejen mechanickému namáhání, ale také působení více nebo méně agresivního prostředí, jehož účinek se projevuje korozí. Koroze je samovolně probíhající proces chemického nebo fyzikálně-chemického znehodnocování materiálů, za působení nejčastěji kapalného nebo plynného

okolního prostředí. V důsledku korozních reakcí, které v soustavě probíhají, dochází i ke snížení volné entalpie soustavy. [2]

Nejrozšířenějším prostředím, ve kterém probíhá koroze, je zemská atmosféra, jejíž agresivita je místně velmi proměnlivá. Dalším korozním prostředím jsou půdy a přírodní vody (včetně mořské vody), do kterých jsou konstrukce uloženy. V oboru výrobních technologií jsou mezi těmito prostředími např. kyseliny, zásady, organické chemikálie, plyn a prostředí působící za zvýšených teplot a tlaků. [2]

Různá prostředí se svými korozními účinky na materiály liší – a to nejen mechanismem koroze, ale i intenzitou jejich degradačních účinků. Mezi nejběžnější následky způsobené korozí patří: [2]

- Úbytek materiálu (vznikem korozních zplodin na povrchu součásti – oxidů, sulfidů); rovnoměrná koroze
- Proděravění materiálu (když se koroze lokalizuje na malou plochu); důlková, bodová, štěrbinová koroze
- Vznik strukturní koroze; mezikrystalová, selektivní koroze

### 2.3. Typy koroze

Koroze se podle charakteru (resp. mechanismu korozních dějů) dělí na chemickou a elektrochemickou

#### 2.3.1. Chemická koroze

Chemická koroze je nejčastěji reakce mezi nevodivým plynným prostředím a povrchem součásti – a to za normální, ale hlavně zvýšené teploty. Může to ale být i reakce v elektricky nevodivých kapalných prostředích. Produkty vzniklé při chemické korozi většinou vytvářejí vrstvy přímo v těch místech, ve kterých došlo k reakci (další růst těchto vrstev, tedy kinetiku procesu koroze, určuje charakter těchto vrstev). [3]

Faktory, které je potřebné znát k posouzení korozní reakce, jsou: [2]

- Afinita kovu k danému prostředí
- Termodynamika probíhajícího děje
- Kinetika korozního procesu
- Pillingovo-Bedworthovo pravidlo

Pod pojmem Pillingovo-Bedworthovo číslo (PB číslo) se rozumí poměr  $V_M/V$ , přičemž  $V_M$  značí molární objem korozní zplodiny a  $V$  značí atomový objem kovu. [2]

**Pillingovo-Bedworthovo pravidlo** říká, že pokud je poměr  $V_M/V$  menší než jedna, vrstva korozních zplodin nestačí pokrýt povrch kovu, plyn, který reaguje, má trvalý přístup k povrchu kovu a vrstva, která vzniká, nemá žádné ochranné vlastnosti. [2]

Pokud je ovšem tento poměr vyšší než jedna, vzniklá vrstva může (ale nemusí) mít ochranné vlastnosti. Pokud je hodnota PB čísla vysoká, pak často může dojít k popraskání oxidické vrstvy – a tím i k potlačení ochranného charakteru této vrstvy. [2]

Ideálním případem je, když PB číslo dosáhne hodnoty 1. Vzniklá oxidická vrstva pokryje povrch kovu a má ochranné vlastnosti. [27]

V tabulce [Tab. 1] jsou uvedeny příklady PB čísla

Kov	Oxid	PB číslo	Kov	Oxid	PB číslo
Na	Na <sub>2</sub> O	0,55	Ni	NiO	1,65
Li	Li <sub>2</sub> O	0,58	Ti	TiO <sub>2</sub>	1,73
Al	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,28	Fe	FeO	1,80
Pb	PbO	1,31	Fe	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,14
Zn	ZnO	1,55	Cr	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,07
Cu	Cu <sub>2</sub> O	1,64	Mo	MoO <sub>3</sub>	3,30

Tab. 1 - Hodnoty Pillingova-Bedworthova čísla vybraných kovů [2]

### 2.3.2. Elektrochemická koroze

Pod pojmem elektrochemická koroze se rozumí znehodnocující proces materiálů, při kterém vzniká elektrický proud. Tento děj probíhá při normální teplotě, avšak součást musí být ve vodivém prostředí – elektrolytu. [3]

Podmínkou pro to, aby proběhla elektrochemická koroze, je vytvoření galvanického článku. Tento typ koroze vždy obsahuje dvě na sobě závislé reakce (obdobně jako děj v galvanickém článku) – katodickou a anodickou. Tyto reakce jsou na sebe vázány, nemohou probíhat samostatně, pokud kovem, který koroduje, neprochází vnější elektrický proud. [3]

Anodová reakce je oxidační, tedy je zdrojem elektronů, a odpovídá vlastní korozi. Katodová reakce, také nazývaná depolarizační (pod pojmem depolarizace se rozumí vybití nebo jiné odstranění elektronů, které vznikly při anodové reakci), spotřebovává stejný počet elektronů, jaký vznikl při anodické reakci. Podle toho, která složka roztoku se redukuje, mluvíme buď o vodíkové depolarizaci (vybití iontu vodíku), nebo o kyslíkové depolarizaci (redukce kyslíku rozpuštěného v elektrolytu). [3]

Rychlost koroze může být řízena buď katodovou dílčí reakcí, anodovou nebo oběma současně. Dohromady katodové a anodové reakce představují korozní děj a mohou probíhat na stejném místě povrchu kovu (pokud je kov zcela homogenní a složení roztoku je po celé ploše dotyku s kovem stejné), nebo i místně odděleně. [3]

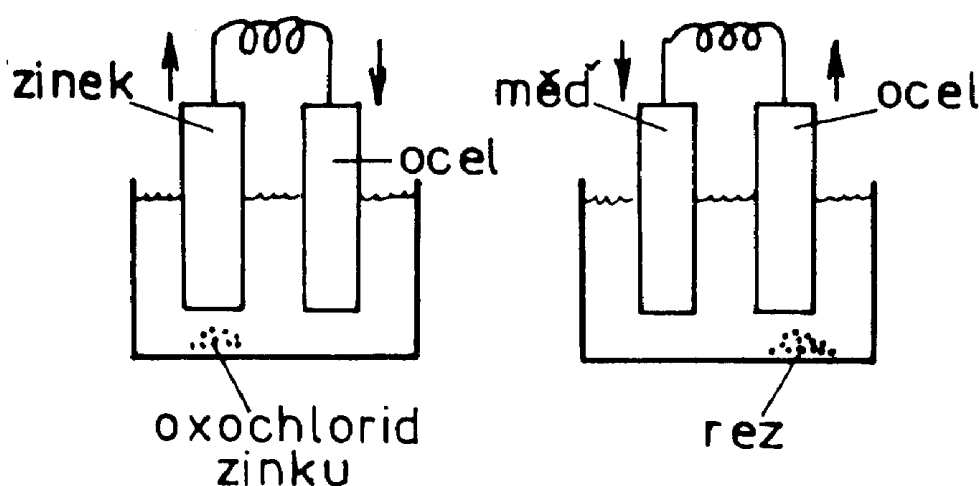
Hnací síla příslušné korozní reakce je charakterizována potenciálovým rozdílem, vyjádřeným hodnotou přepětí  $\eta$ . Ten nám navíc udává i směr, ve kterém reakce probíhá.

$$\eta = E - E_r \text{ (V) [4]}$$

Kde  $E$  je potenciál elektrody,  $E_r$  je rovnovážný potenciál (jehož hodnota je dána typem kovu a aktivitou jeho iontů v roztoku).

Pokud  $\eta > 0$ , reakce probíhá ve směru oxidace.

Pokud  $\eta < 0$ , reakce probíhá ve směru redukce. [4]



Obr. 3 – Koroze elektronegovnějšího zinku ve spojení s ocelí, tvorba rzi na oceli ve spojení s elektropozitivnější mědí [4]

## 2.4. Druhy korozního napadení

Korozi můžeme z hlediska povahy korozního napadení rozdělit na několik druhů.

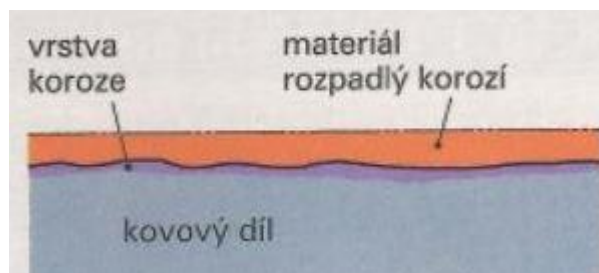
### 2.4.1. Rovnoměrná koroze

Při rovnoměrné korozi se celý povrch rozpouští rovnoměrně, dochází ke stejnoměrnému úbytku kovů. Rychlost této koroze se dá vyčíslit několika způsoby, z nichž nejpoužívanější jsou:

- Ztrátou hmotnosti:  $g * m^{-2} * den^{-1}$
- Úbytkem tloušťky:  $mm * rok^{-1}$

Tento druh koroze nám tedy poskytuje možnost vypočítat pravděpodobnou životnost použitého materiálu a rozhodnout, zda je použití tohoto materiálu výhodné. [1]

Nejběžněji se rovnoměrná koroze vyskytuje u součástí z nelegovaných ocelí, které nejsou povrchově chráněny. [5]



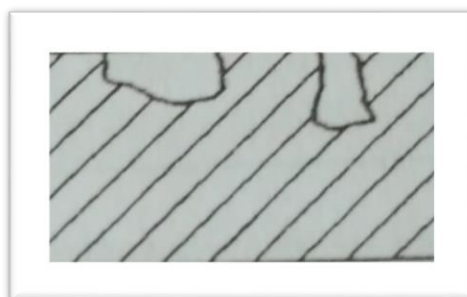
Obr. 4 - Rovnoměrná koroze [6]

#### 2.4.2. Bodová koroze

Bodová koroze je typická pro snadno pasivovatelné kovy – Cr, Al, Ni, korozivzdorné oceli. Vzniká při poškození pasivní vrstvy v určitém místě. [2]

Při celkově malém úbytku materiálu může tento druh koroze vést k rychlému proděravění materiálu – a to i velké tloušťky. Nejčastěji k ní dojde v roztocích, které obsahují chlor, brom, jod nebo jejich soli. Ionty těchto halogenů proniknou ochrannou vrstvou mnohem snadněji než jiné ionty. Na postižených místech povrchu materiálu nastane rychlá koroze, která postoupí do hloubky a brzy může způsobit i úplné proděravění. [1]

Má za následek vznik důlků a prohloubenin. Je nebezpečná například pro potrubí a zásobníky. [5]



Obr. 5 – Bodová koroze [2]

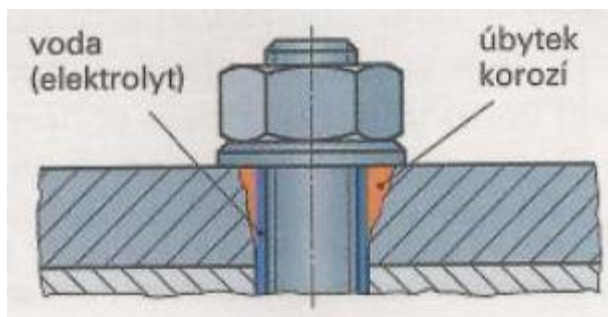


### 2.4.3. Štěrbínová koroze

Štěrbínová koroze probíhá v jemných kapilárách nebo štěrbinách se špatným oběhem korozního prostředí. V těchto mezerách se hromadí vlhkost. Tak vzniknou koncentrační články, které korozi urychlují. [5]

Pro kovy a slitiny schopné pasivace (jako jsou korozivzdorné oceli) je charakteristické, že rozdíly obsahu kyslíku na povrchu kovu mohou vyvolat koncentrační článek, v němž vnější části s přístupem kyslíku tvoří katodu a anodová oblast je uvnitř štěrbin. [1]

V praxi k ní dochází např. mezi šroubovými spoji, bodovými svary nebo pod podložkami a těsněními. [3]

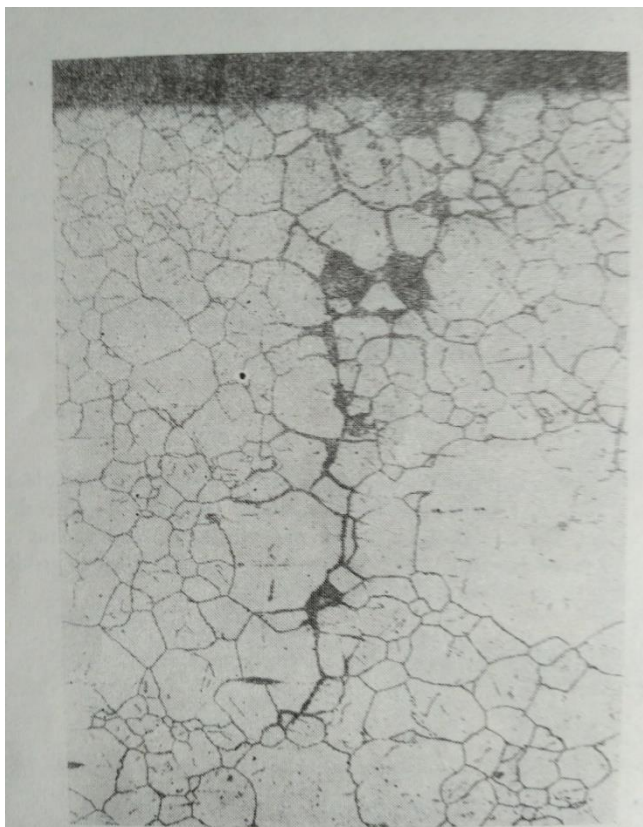


Obr. 6 – Štěrbínová koroze [6]

### 2.4.4. Mezikrystalová koroze

Mezikrystalová koroze probíhá mezi krystaly (zrny) podél rozhraní zrn, které má kvůli strukturním změnám sníženou odolnost vůči korozi. Tento druh koroze proniká do velké hloubky – klidně i celým průřezem. Náchylné k ní jsou především slitiny, u kterých dochází ke změnám struktury na hranicích zrn při stárnutí, ohřevu při zpracovávání nebo tepelným ovlivněním (jako je například svařování). [1]

V závislosti na chemickém složení, struktuře a tepelném zpracování ohrožuje korozivzdorné oceli, slitiny hliníku, niklu, austenitické oceli. Při správném tepelném zpracování však oceli většinou této korozi nepodléhají. [1]



Obr. 7 – Mezikrystalová koroze [1]

#### 2.4.5. Selektivní koroze

Selektivní koroze je druh koroze, při kterém jsou postiženy jen některé z fází nebo složek slitiny. Příkladem může být koroze dvoufázové austeniticko-feritické korozivzdorné oceli, při které koroduje austenitická fáze. [3]

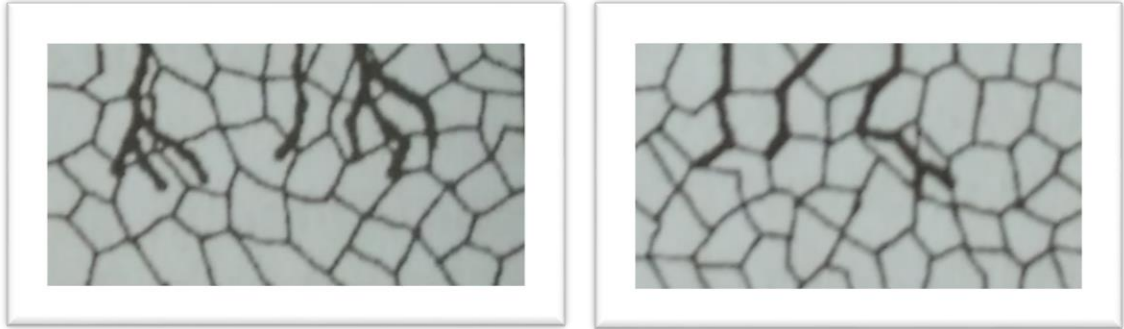


Obr. 8 – Selektivní koroze [2]

#### 2.4.6. Korozní praskání

K tomuto porušení materiálů dochází, pokud jsou zároveň splněny tři faktory – materiál citlivý na korozní praskání, korozní prostředí a mechanické vlivy (tahové napětí). Korozní napadení je v takovém případě intenzivnější, než pokud by tyto vlivy působily odděleně.

Dochází při něm k mezikrystalovému lomu nebo transkrystalovému lomu. Používá se také název korozní praskání pod napětím. [17, 1]



Obr. 9 – Transkrystalické korozní praskání [2] Obr.10 – Interkrystalické korozní praskání [2]

#### 2.4.7. Další druhy korozního napadení

Mezi další typy korozního napadení může patřit vibrační koroze (vyvolaná mechanickým namáháním a vzájemnými kmitavými pohyby dvou stýkajících se součástí), nitková koroze (k té dochází především pod vrstvou organických povlaků na oceli) nebo korozní únava (podobná jako korozní praskání, ale na materiál působí střídavé napětí). [1]



Obr.11 – Korozní únava [2]

## **2.5. Hlavní činitelé ovlivňující korozi**

Činitele, které mají vliv na vznik a také průběh korozního pochodu, lze rozdělit do tří skupin.

### **2.5.1. Stav materiálu**

Kovy a slitiny svým chemickým složením odpovídají určité normě nebo technickým podmínkám. Tyto normativní údaje ale nemusí vždy vystihnout všechny materiálové vlastnosti, které nakonec o korozní odolnosti rozhodnou. Mezi tyto údaje může patřit například obsah nečistot, stav povrchu materiálu nebo struktura materiálu. [1]

Prvním druhem nečistot jsou ty složky materiálu, které nejsou záměrnými legovacími prvky, ale při výrobě materiálu nejdou běžnými postupy odstranit. Norma s nimi proto musí do jisté míry počítat. Příkladem může být např. síra v oceli, železo ve slitinách hořčíku. Druhým druhem nečistot jsou různé látky, které se do povrchových vrstev materiálu dostanou při jeho zpracovávání nebo využití – povrchové vměstky, zbytky pomocných prostředků při pájení a sváření, zaválcované okraje. [1]

Každá taková nečistota může potenciálně urychlit korozi. Např. v korozi v elektrolytech fungují nečistoty jako mikroelektrody schopné vytvářet další nebezpečné korozní články, snižováním přepětí katodické reakce usnadňovat průběh koroze nebo narušovat souvislost povrchové ochranné vrstvy. Mohou také sloužit jako počáteční centra koroze, kolem nichž se pak koroze šíří do okolí. [1]

Negativní dopady nečistot se mohou projevit již v počáteční fázi procesu koroze (např. vytvořením podmínek pro bodovou korozi). Přímý negativní účinek nečistot druhého zmíněného typu obvykle zaniká poté, co zkorodují první povrchové vrstvy (které obsahují tyto nečistoty). Další průběh korozního procesu již závisí na vlastnostech zbývajících částí materiálu a na vzniklé vrstvě produktů koroze. [1]

### **2.5.2. Stav korozního prostředí**

Důležitým faktorem zde není jen chemické složení korozního prostředí, ale i jeho teplota, tlak a relativní pohyb vůči povrchu kovového materiálu. Obecně zvyšování teploty prostředí působí na rychlost koroze kladně. U dějů řízených difuzí se rychlost koroze zvyšuje s urychlováním difuze. [1]

Zvyšování tlaku korozního prostředí, kapalného nebo plynného (zde je význam tlaku větší), působí na rychlost koroze také kladně. [1]

Stejně jako u teploty a tlaku i u pohybu korozního prostředí obecně platí, že vzrůstající pohyb vytváří podmínky vhodné pro zvýšení koroze. [1]

Ani z jednoho z těchto faktorů však nemůžeme obecně vycházet. Je nutné zvážit i všechny další podmínky. Může se stát, že vyšší teplota nebo pohyb korozního prostředí ovlivní rychlost koroze negativně. [1]

### **2.5.3. Konstrukce výrobku**

Skladba materiálu nebo užití konstrukční řešení může mít za následek, že se materiál bude chovat v určitém korozním prostředí jinak, než bylo předpokládáno. Takto může působit např. kontakt s jiným materiálem, konstrukční uspořádání části zařízení a mechanické namáhání, kterému je vystavena část zařízení. [1]

Každé přímé elektricky vodivé propojení dvou kovů, které jsou společně umístěny v elektrolytu, může vést k vytvoření korozního článku. V praxi se ale takovým spojením nelze vyhnout, a proto je nutné uvažovat, zda bude konkrétní použitá kombinace materiálů korozně nebezpečná. [1]

### 3. STUPNĚ KOROZNÍHO PROSTŘEDÍ

Mezi hlavní činitele ovlivňující korozi patří stav korozního prostředí. To znamená, že zatímco v chemicky čistém prostředí může daná ocel odolávat korozi dlouhou dobu, ve znečištěném prostředí se může doba, kterou stejná ocel bude korozi odolávat, znatelně snížit.

Rozlišujeme 5 stupňů korozní agresivity atmosféry. Těchto 5 stupňů a některé příklady prostředí, které do daného typu spadají, jsou přehledně zobrazeny v **tab. 2 [26]**.

Stupně korozní agresivity	Informativní příklady typických vnitrozemských mírných pásem	
	Venkovní	Vnitřní
C1 – velmi nízká		Vytápěné budovy s čistou atmosférou, např. kanceláře, školy, obchody, hotely
C2 – nízká	Atmosféry s mírnou úrovní znečištění, převážně venkovské prostředí (v ČR jen velmi vzácně)	Nevytápěné budovy, kde může docházet ke kondenzaci, např. sklady, sportovní haly
C3 – střední	Městské a průmyslové atmosféry s mírným znečištěním oxidem siřičitým	Výrobní prostory s vysokou vlhkostí a malým znečištěním ovzduší, např. výroby potravin, prádelny, pivovary, mlékárny
C4 – vysoká	Průmyslové prostředí	Chemické závody, plavecké bazény, loděnice, kravíny
C5 – velmi vysoká (průmyslová)	Průmyslová prostředí s vysokou vlhkostí a agresivní atmosférou	Budovy nebo prostředí s převážně trvalou kondenzací a vysokým znečištěním ovzduší

Tab.2 – Stupně korozního prostředí [26]

## 4. VYUŽÍVÁNÍ KOVOVÝCH MATERIÁLŮ

Nejstarším kovovým materiálem, který lidé používali, je pravděpodobně zlato. Dokládají to nálezy nezpracovaného zlata ze španělských jeskyní z doby 40 000 let př.n.l. Zlato má velmi dobrou kujnost, ale jeho další vlastnosti nejsou vhodné pro širší praktické využití. [8]

Prvním kovem, který lidé začali využívat kvůli jeho vlastnostem, je měď. Její první využití je datováno zhruba kolem roku 7 000 př.n.l. Lidé zjistili, že nástroje vyrobené z mědi vydrží déle než ty z kamene, a přitom nejsou v ničem horší. [9]

Od té doby se používání kovů rozšířilo a nyní jsou využívány téměř ve všech oblastech lidského života. Jenže s používáním kovů se již od počátku nese i řada problémů. Koroze je jedním z nich. Každoročně je kvůli korozi na celém světě utraceno asi 2,2 trilionu dolarů, což je asi 3 % světového HDP. [10]

Ztráty způsobené korozi jsou dvojího typu. Prvním typem jsou tzv. ztráty přímé, což jsou náklady na opravu poškozených zařízení, náklady na protikorozní opatření atd. Druhým typem jsou ztráty nepřímé. Tím se rozumí ztráty vzniklé zastavením (nebo částečným omezením) výroby v důsledku koroze. Nepřímé ztráty mohou být v některých případech i několikanásobně větší než ty přímé. [11]

### 4.1. Obrana proti korozi

Je patrné, že koroze je obrovským problémem. Proto tam, kde je to možné probíhá náhrada kovových materiálů materiály jinými – takovými, které jsou vůči korozi odolnější. Národním příkladem jsou plastové materiály, se kterými se setkáváme v mnoha odvětvích průmyslu a téměř v každé domácnosti.

V mnoha případech ale náhrada kovového materiálu za materiál jiný není z různých důvodů možná. V takovém případě je důležité po komplexním rozboru problému zvolit správný způsob (případně správné způsoby) ochrany proti korozi.

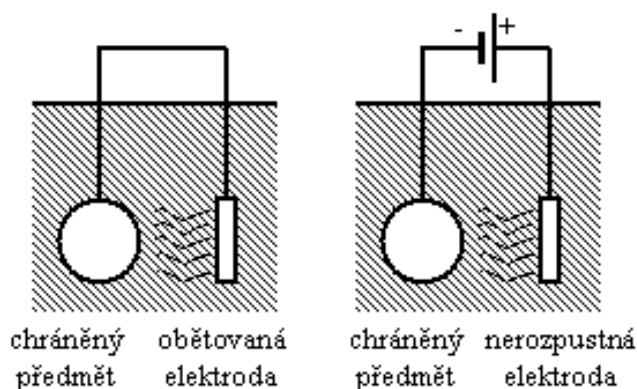
Obecně lze říci, že hlavním cílem obrany proti korozi je minimalizace počtu míst, kde by mohlo ke koroznímu napadení dojít, nebo eliminace kritických míst změnou tvaru součástí. [30]

Pro detailnější představu lze hlavní způsoby ochrany vůči korozi rozdělit do několika kategorií:

- Vhodné konstrukční řešení – pod tímto pojmem se rozumí předcházení konstrukčním chybám, které by vedly ke korozi. Mezi tyto chyby patří např. konstrukce prodlužující

styk materiálu s agresivním prostředím, koncentrace napětí v určitých místech součásti (místo rovnoměrného rozložení napětí) atd. [11]

- Optimální technologie výroby – tím se rozumí vyvarování se technologických operací, které mohou negativně ovlivnit korozní odolnost (vznik prutů v důsledku svařování, hrubý povrch po obrábění atd.). [11]
- Úprava prostředí – úpravou prostředí se sníží jeho agresivita. Například snížení vlhkosti v prostředí použitím vysoušedel omezí kondenzaci vlhkosti na povrchu materiálu. Dalším příkladem je použití pasivačních prostředků, které svou reakcí s korozním prostředím vytváří na povrchu součásti pasivní vrstvu. Mezi pasivační prostředky patří např. dusitan sodný. [11]
- Elektrochemická ochrana – tento způsob ochrany proti korozi spočívá v záměrném vytvoření galvanického článku. Za prvé to může být katodická ochrana (chráněná součást se stává katodou a je imunní vůči působení korozních činidel). Za druhé to může být anodická ochrana (předmět, který chceme ochránit, se stane anodou, čímž se stane pasivní vůči působení činidel koroze). [11]



Obr.12 – Elektrochemická ochrana vůči korozi [11]

- Povrchové úpravy – touto metodou ochrany proti korozi se rozumí např. uměle vytvořená sloučenina (nebo slitina) na povrchu součásti s lepšími korozivzdornými vlastnostmi nebo upravení povrchové vrstvy součásti, aby obsahovala složky zmírňující agresivitu okolního prostředí. [11]
- Volba vhodného materiálu – materiál je volen tak, aby co nejdéle odolával působení korozního prostředí, ale aby náklady na jeho pořízení a následnou údržbu byly co nejnižší. [11]



## 5. KOROZIVZDORNÉ OCELI A ŽÁRUVZDORNÉ OCELI

### 5.1. Korozivzdorné oceli

Korozivzdorné oceli (neboli nerezavějící oceli) patří mezi kovové konstrukční materiály. Jsou to vysokolegované oceli, které mají zvýšenou odolnost (avšak ne úplnou imunitu) vůči korozi. Základním prvkem v těchto ocelích je chrom. Mezi tyto oceli řadíme oceli schopné pasivace (která ocelím dává odolnost proti elektrochemické korozi v oxidačním prostředí). [2]

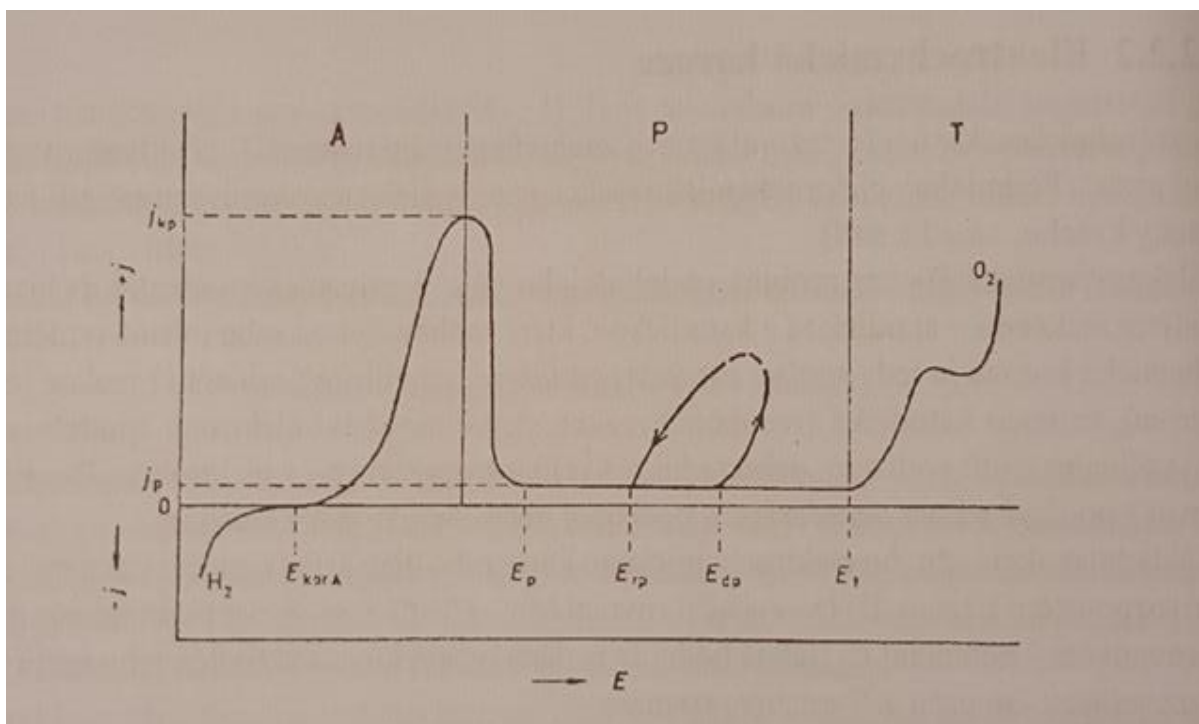
#### 5.1.1. Pasivace

Pasivita nastane, když se při korozním ději na povrchu materiálu vytvoří ochranná vrstva (tvořená většinou velmi stabilními oxidy). Funguje tak, že anodový děj se zbrzdí v určité potenciální oblasti – v takové oblasti, ve které kov nekoroduje. Díky tomu dojde k vysoké korozní odolnosti pasivovaného materiálu. [2]

Určité kovy mají vyšší sklony k pasivitě než jiné. Mezi takové kovy patří chrom, proto tvoří základní složku korozivzdorných ocelí. Dále mezi ně patří např. hliník, nikl, molybden, nebo i měď, křemík, titan aj. [2, 29]

Některé kovy a slitiny mohou být pasivovány tak, že jsou vystaveny pasivačnímu prostředí (např. železo v chromových nebo dusíkových roztocích) nebo také anodickou polarizací při dostatečně velké hustotě proudu (např. železo v kyselině sírové). [29]

Na **obr.13** [2] je zobrazena polarizační křivka korozivzdorné oceli. Tato křivka zobrazuje závislost proudu ( $j$ ) na změně potenciálu ( $E$ ).



Obr. 13 – Polarizační křivka korozivzdorné oceli [2]

Na polarizační křivce můžeme vidět 4 oblasti. [2]

1. Oblast aktivního rozpouštění (A). V této oblasti kov přechází do iontového stavu. Od potenciálu  $E_{kor A}$  dochází k rozpouštění kovu.
2. Vznik pasivního filmu – ten vzniká po dosažení elektrického potenciálu  $E_p$ . Rychlost rozpouštění kovu se znatelně snižuje. Na povrchu materiálu vzniká vrstva oxidu.
3. Oblast pasivity (P). Pro tuto oblast je charakteristické, že rychlost rozpouštění nezávisí na tom, jak velký je potenciál. Rychlost rozpouštění je velmi malá. V praxi je požadováno, aby tato oblast byla co možná nejširší. Některé prvky v okolním prostředí ale mohou pasivní vrstvu porušit (například chlor). K tomuto porušení dojde při dosažení potenciálu  $E_{dp}$  (což je potenciál průrazu nebo potenciál bodové koroze). Při zmenšení potenciálu na hodnotu  $E_{rp}$  se schopnost pasivity obnoví.
4. Oblast transpasivity (T). Tato oblast začíná při hodnotě potenciálu  $E_t$ . Pokud se velikost potenciálu dále zvyšuje, tak se zároveň zvyšuje i rychlost koroze. V porovnání s oblastí aktivního rozpouštění zde vznikají vyšší oxidy.

O tom, jestli daná korozivzdorná ocel bude korodovat v aktivním, pasivním nebo transpasivním stavu, rozhoduje hlavně redukční potenciál elektrolytu. Oceli s dostatečným obsahem chromu se pasivují již při pouhém pobytu na vzduchu. [1]

Korozní prostředí s dostatečnou redukční schopností ale pasivitu ocelí ruší, ocel aktivují a nastává koroze. Obdobně na oceli působí i ionty halogenů, chloru, jodu a bromu – v přítomnosti těchto iontů dochází k bodové korozi. [1]

Oceli se rovněž aktivují, pokud dojde k mechanickému porušení pasivní vrstvy. Pasivita se při pobytu na vzduchu opět obnoví, ale nedojde k tomu hned. Obnova zabere od několika sekund až po několik desítek minut. Mechanická aktivace v kombinaci s působením eroze nebo abraze zesiluje korozi i v jinak pasivním prostředí. [1]

Jak již bylo zmíněno v 1. kapitole, podmínkou pasivace je obsah chromu v tuhém roztoku vyšším než 11,5 % (v různých zdrojích se minimální obsah chromu udává jako 11,5 %, 11,94 %, nebo i 12 %), přičemž obsah chromu v tuhém roztoku, zajišťujícím korozivzdornost, závisí nejen na obsahu chromu v oceli, ale i na obsahu uhlíku (který dohromady s chromem vytváří karbidy). [2]

### **5.1.2. Vlastnosti a chemické složení korozivzdorných ocelí**

Charakteristickou vlastností pro korozivzdorné a žáruvzdorné oceli je nízký obsah uhlíku, obvykle nižší než 0,08 % (výjimkou jsou chromové martenzitické oceli). Uhlík působí negativně na obsah chromu v tuhém roztoku, protože tyto dva prvky spolu tvoří karbidy. Kvůli vyšší difuzní rychlosti uhlíku, než jakou má chrom, může docházet ke vzniku heterogenity (rozdílné struktury materiálu). Místa, která jsou takto o chrom ochuzená, mají v důsledku nižší korozivzdornost. [2]

Nebezpečí tvorby karbidů hrozí především při pomalém ochlazování po svaření, odlití nebo tváření. Karbidy (především karbid  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ ) se vylučují na hranicích zrn. Vytvoření karbidů může místně vést ke snížení obsahu chromu pod 11,5 %. Tím pádem už ale není splněna podmínka pasivace a hrozí nebezpečí mezikrystalové koroze. [4]

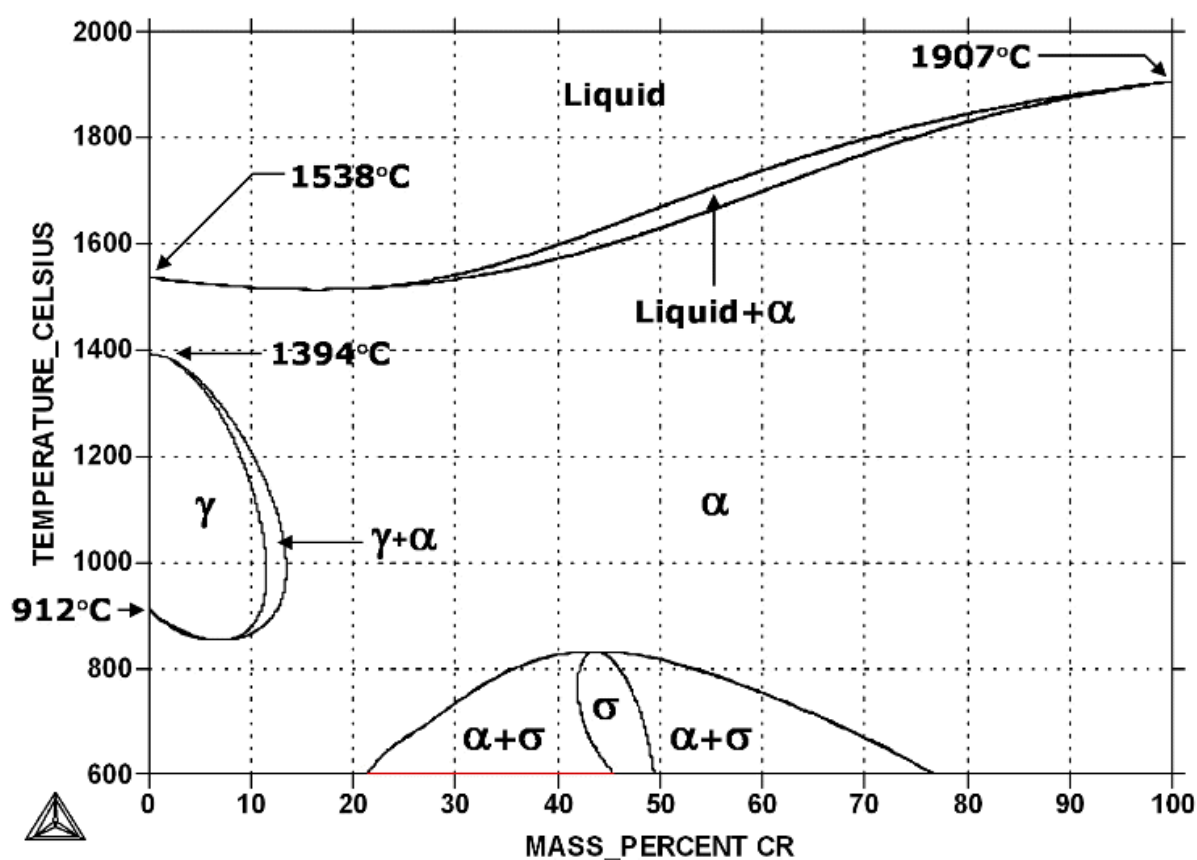
Existuje několik metod, kterými lze tvorbě těchto nežádoucích karbidů zabránit. Jednou z nich je snížení obsahu uhlíku pod 0,02 %. Můžeme jim předejít i správným tepelným zpracováním (rozpuštěcí žíhání následované rychlým ochlazením). Další možností je legování oceli prvky, které mají k uhlíku vyšší afinitu, než jakou má chrom (mezi takto používané prvky patří například niob, tantal a titan). V takovém případě se uhlík naváže na tyto prvky. Proces přidávání prvků, které tvoří karbidy, do ocelí se nazývá stabilizace. Oceli, ve kterých je uhlík takto vázán na karbidy s vysokou afinitou k uhlíku, pak nazýváme stabilizované oceli. [4]

Kromě chromu a uhlíku jsou dalšími významnými prvky v korozivzdorných ocelích nikl (až 30 %, důležitý zejména v chrom-niklových ocelích) a mangan (až 24 %, významný zejména

v chrom-manganových ocelích). Dalšími typickými prvky v těchto ocelích jsou slitinové prvky jako molybden, titan, dusík, křemík aj. [1]

V některých prostředích mohou být korozivzdorné oceli náchylné k místním druhům koroze (bodová koroze, mezikrystalová koroze aj.). Tento problém se dá eliminovat jednak výběrem správné korozivzdorné oceli pro konkrétní podmínky a jednak vhodným zpracováním. [1]

I přes vysoké procentuální zastoupení přísadových prvků je základním prvkem korozivzdorných ocelí stále železo a jeho slitina s uhlíkem, tzn. ocel. Význam chromu je jednak v posilování pasivace a jednak v potlačení austenitické fáze (fáze  $\gamma$ ) v soustavě Fe – Cr, jak lze vidět i z rovnovážného diagramu Fe-Cr, který je na **obr. 13** [25]. [1]



Obr. 13 – Rovnovážný diagram soustavy Fe-Cr [25]

$\alpha$  – ferit

$\gamma$  – austenit

$\sigma$  – křehká nemagnetická fáze, která se vylučuje od teplot 820 °C do asi 500 °C

Jak je vidět z diagramu, oblast  $\gamma$  se uzavírá při obsahu chromu asi 12 %.

Pokud je ve slitině více % chromu, jedná se již o slitinu se strukturou feritickou s vyloučenými karbidy. Taková slitina při chladnutí nepřekrystaluje. [2]

Pokud je naopak obsah chromu nižší než 12 %, je taková ocel samokalitelná a za obvyklých výrobních podmínek proběhne transformace austenitu na martenzit. [2]

## **5.2. Žárovzdorné oceli**

Žárovzdorné oceli jsou takové oceli, které mají vysokou oxidační a korozní odolnost a stále dlouhodobé vlastnosti v plynech s vysokou teplotou. To, jak velká tato odolnost je, závisí na obsahu legovacích prvků. [2]

Žárovzdorná ocel se obecně používá v aplikacích, kde je vyžadována odolnost proti zvýšeným teplotám. Průmyslové aplikace těchto ocelí zahrnují pece, rošty, tepelné výměníky a spalovny, kde teploty mohou dosáhnout i více jak 1100 °C. [15]

Do požadavků na žárovzdornost se nezahrnují žádné vyšší požadavky na mechanické vlastnosti při vysokých teplotách (nad 600 °C). Požadavky jsou kladeny pouze na odolávání žáru. Požadavky na žárovzdornost i na vysoké mechanické vlastnosti (hlavně hodnota meze tečení<sup>1</sup>) za tepla splňují žárupevné oceli. [1,13]

Protože mechanismy vysokoteplotní koroze jsou různé a protože každé obklopující prostředí má jiný charakter a je jinak agresivní, neexistuje žádná univerzální žárovzdorná ocel, která by odolávala působení všech možných prostředí a za jakýchkoli podmínek. [1]

Navíc se jednotlivé druhy žárovzdorných (stejně tak jako i žárupevných) ocelí a jejich legury mohou chovat v různých případech odlišně. Proto je nutné při výběru žárovzdorné oceli nevycházet jen z obecné korozní charakteristiky, ale hlavně z údajů o jejich chování v konkrétních korozních prostředích s vysokou teplotou. [1]

### **5.2.1. Chemické složení žárovzdorných ocelí**

Odolnosti žárovzdorných ocelí je dosaženo díky legujícím prvkům. Největší zlepšení žárovzdornosti poskytuje chrom, poté hliník a křemík. Ostatní legury ovlivňují odolnost vůči působení vysokých teplot pouze v menším rozsahu. [1]

Pokud je obsah chromu v oceli vyšší než 13 %, na povrchu žárovzdorné oceli se začíná tvořit vrstva oxidu Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, která obsahuje také malé množství Fe a Ni. Tato vrstva chrání ocel před další oxidací. Nikl má pozitivní vliv na její přilnavost. Takovéto vrstvy, které jsou

---

<sup>1</sup> Mez tečení – napětí, při jehož překročení v kovových materiálech dojde za vysokých teplot k plynulému přetváření. Je to hypotetická veličina, definuje se proto jako smluvní, jako napětí, které za určitou dobu při dané teplotě způsobí předepsanou deformaci tělesa. [14]

v oxidačním prostředí za vysokých teplot přilnavé k povrchu kovu, může kromě chromu vytvářet i např. křemík nebo hliník. [2]

Chemické složení žáruvzdorných ocelí je obdobné jako u ocelí korozivzdorných, proto se mohou některé žáruvzdorné oceli používat jako korozivzdorné a naopak. Normované žáruvzdorné oceli mají většinou obsah uhlíku pod 0,12 %. [2]

Žáruvzdornost lze zvyšovat přísadami chromu – až do 40 %. Přísady křemíku jsou obvykle do 3 %, hliníku výjimečně do 5 %, běžněji však do 2 %. [1]

Chemické složení (a zároveň i mechanické hodnoty) vybraných žáruvzdorných ocelí lze vidět v **tab. 3** [2]

Značka	Č. ozn.	Chemické složení oceli v [hm. %]				HB max.	$R_{p0,2}$ min. [MPa]	$R_m$ min. [MPa]
		C	Si	Cr	Ni			
Feritické žárovzdorné oceli								
X10CrAlSi7	1.4713	max. 0,12	0,50–1,00	6,00–8,00	–	192	220	420–620
X18CrN28	1.4749	0,15–0,20	max. 1,00	26,00–29,00		212	280	500–700
Austenitické žárovzdorné oceli								
X10CrNiTi18-10	1.4878	max. 0,10	max. 1,00	17,00–19,00	9,00–12,00	192	190	500–720
X15CrNiSi25-21	1.4841	max. 0,20	1,50–2,50	24,00–26,00	19,00–22,00	223	230	550–750
X10NiCrAlTi32-21	1.4876	max. 0,12	max. 1,0	19,00–23,00	30,00–34,00	192	200	450–680
X25CrMnNiN25-9-7	1.4872	0,20–0,30	Mn 8,00–10,0	24,00–26,00	6,00–8,00	311	500	850–1050
Austeniticko-feritické žárovzdorné oceli								
X15CrNiSi25-4	1.4821	0,10–0,20	0,80–1,50	24,50–26,50	3,50–5,50	235	400	600–850

Tab.3 – Chemické složení a mechanické hodnoty vybraných značek žáruvzdorných ocelí [2]

Obsah manganu uvedených ocelí je do 2 %, fosforu do 0,045 %. Feritické žáruvzdorné oceli obsahují i legury hliníku v obsahu 0,5 % – 1 % (u značek s obsahem Cr > 13 % je hliníku 1,2 % až 2,1 %). [2]

Feritické žáruvzdorné oceli se vzájemně liší zejména obsahem Cr. Celkem je normováno 6 značek těchto ocelí, v tabulce je uvedena značka s nejmenším obsahem chromu (první řádek) a naopak značka s největším obsahem chromu (druhý řádek). [2]

Austenitické žáruvzdorné oceli na bázi niklu se dělí do 4 skupin s obsahem 14 % – 26 % chromu. [2]

Austeniticko-feritické žáruvzdorné oceli se mezi sebou liší podle obsahu chromu a niklu. Značky, které obsahují velký podíl niklu, se nehodí k používání v prostředí s obsahem plynných sloučenin síry. [2]

### 5.3. Schaefflerův diagram

Podle vlivu slitinových prvků na výslednou strukturu oceli je můžeme rozlišit na dvě skupiny:

1. Feritotvorné prvky: tyto prvky rozšiřují oblast existence feritu. Mezi tyto prvky patří především chrom, dále molybden, titan, hliník aj. [1]
2. Austenitotvorné prvky: tyto prvky zvětšují oblast  $\gamma$  a také snižují teplotu martenzitické přeměny. Patří mezi ně především nikl a mangan. Vysocelegované oceli Cr-Mn mohou mít austenitickou strukturu. Nikl velkým dílem přispívá ke korozivzdornosti, je hned po chromu nejdůležitějším prvkem v korozivzdorných ocelích. [2]

Vliv chemického složení (respektive vliv feritotvorných a austenitotvorných prvků) na strukturu korozivzdorných a žáruvzdorných ocelí lze vyjádřit v Schaefflerově diagramu.

Pro toto vyjádření je potřeba nejdříve pro danou ocel spočítat tzv. chromový ekvivalent a niklový ekvivalent.

Chromový ekvivalent se značí  $Cr_{ekv}$  a je určen podle koncentrace feritotvorných prvků. Vypočítá se dosazením do rovnice<sup>2</sup>:

$$Cr_{ekv} = Cr + Mo + 1,5 * Si + 0,5 * Nb + 5 * V + 3 * Al \quad [2]$$

Hodnoty jednotlivé koncentrace prvků jsou pak dosazeny v procentech.

Niklový ekvivalent se značí  $Ni_{ekv}$  a analogicky k chromovému ekvivalentu je určen podle koncentrace austenitotvorných prvků, přičemž hodnoty koncentrace jsou dosazeny v procentech do následující rovnice:

$$Ni_{ekv} = Ni + 30 * C + 0,74 * Mn + 0,33 * Cu + A * (N - 0,045) \quad [2]$$

A značí konstantu, jejíž velikost dosadíme podle obsahu dusíku.

Pro  $N < 0,2$  je hodnota  $A = 30$

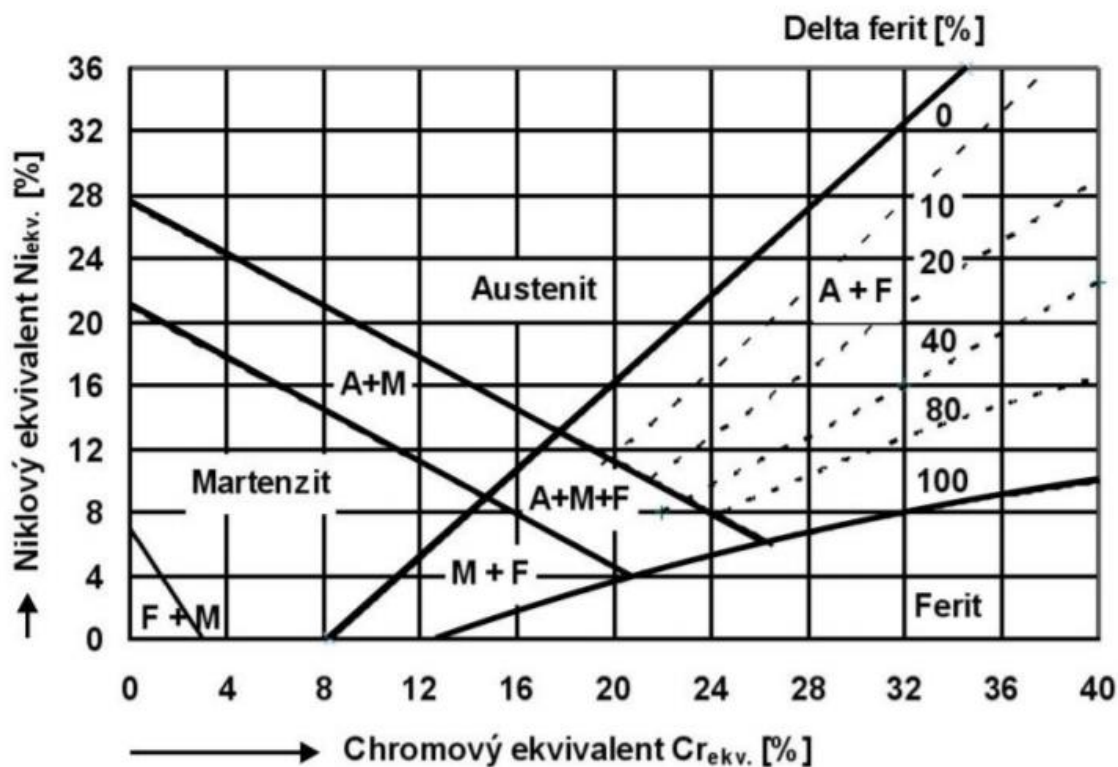
Pro  $0,21 < N < 0,25$  je hodnota  $A = 22$

---

<sup>2</sup> Některé zdroje uvádí pro výpočet  $Cr_{ekv}$  a  $Ni_{ekv}$  lehce odlišné vztahy a nezahrnují vliv vanadu, hliníku, mědi a dusíku.

Pro  $0,26 < N < 0,3$  je hodnota  $A = 20$

Po vypočtení chromového a niklového ekvivalentu již jednoduše ze Schaefflerova diagramu na **obr. 14** [12] vyčteme výslednou strukturu dané korozivzdorné nebo žáruvzdorné oceli.



Obr.14 – Schaefflerův diagram [12]

## 5.4. Vliv legujících prvků na vlastnosti oceli

### 5.4.1. Chrom

Chrom je pravděpodobně nejvýznamnějším legujícím prvkem korozivzdorných ocelí. Je nutnou přísadou pro odolnost vůči oxidaci, s jeho rostoucím obsahem roste korozní odolnost v oxidačních prostředích. [1]

### 5.4.2. Nikl

Nikl je z korozního hlediska jeden z nejvýhodnějších konstrukčních materiálů, protože jeho slitiny se vhodnou kombinací legovacích materiálů dají upravit tak, aby dokázaly odolávat i silným korozním prostředím. Nikl je ovšem deficitní a tím pádem drahý, což značně snižuje možnosti jeho využití. [1]



### 5.4.3. Mangan

Mangan pozitivně ovlivňuje pevnost a tvrdost, zatímco zhoršuje tažné vlastnosti. Má dobrou afinitu ke kyslíku a síře, má proto dobré dezoxidační účinky. Také snižuje tepelnou a elektrickou vodivost. [19]

Nemá tak dobré korozivzdorné vlastnosti jako nikl, ale je levnější a lépe dostupný, proto ve chrom-manganových ocelích je nikl nahrazen právě manganem. [2]

Mangan také zvyšuje prokalitelnost, ale i náchylnost k popouštěcí křehkosti. [19]

## 5.5. Značení korozivzdorných a žáruvzdorných ocelí

Tyto oceli můžeme značit třemi způsoby – podle ČSN, podle mezinárodní normy na základě chemického složení a podle mezinárodní číselné normy.

### 5.5.1. Značení dle ČSN normy

Pokud jsou korozivzdorné a žáruvzdorné oceli značeny podle české normy, zařazujeme je do skupiny 17 – konstrukční vysokolegované oceli. Označení se skládá ze 6 číslic – 41 7XYZ. Číslice 4 značí hutní materiál (ale ta se vynechává a za první číslici se bere ta následující), číslice 1 pak ocel (0 by znamenala slitinu) a 7 středně legovanou nebo vysoko legovanou ocel. Číslice X (třetí číslice) pak vypovídá o legování dané oceli. [21]

Významy různých čísel na třetím místě jsou zobrazeny v **tab. 4** [21]

Číselná značka	Význam třetí číslice
17 0 xx	Oceli chromové
17 1 xx	Oceli chromové s dalšími přísadovými prvky (Al, Mo, Ni)
17 2 xx	Oceli chromniklové, popř. stabilizované (Ti, Nb)
17 3 xx	Oceli chromniklové, popř. stabilizované (Ti, Nb) a s dalšími přísadovými prvky (Mo, V, W, aj.)
17 4 xx	Oceli manganochromové, manganochromniklové
17 5 xx	Oceli niklové
17 6 xx	Oceli manganové
17 7 xx	Volné
17 8 xx	
17 9 xx	

Tab. 4 – Význam třetí číslice ve značení ocelí třídy 17 [21]

Číslice Y (čtvrtá číslice) vypovídá o obsahu hlavních legovacích prvků Cr, Mn a Ni v jednotlivých typech ocelí podle typu legování. [21]

Významy možných čísel na místě čtvrté číslice jsou vidět v **tab. 5** [22]

Čtvrtá číslice ve značce oceli tř.17	Obsah Cr [%]			
	v ocelích legovaných Cr, Cr a dalšími legovacími prvky		v ocelích legovaných Cr-Ni, Cr-Ni a dalšími legovacími prvky	
	nad	do	nad	do
0	4	6	6	10
1	6	10	6	10
2, 3	10	16	10	16
4, 5	16	25	16	25
6, 7	25	-	25	-
8, 9	-	-	-	-

Tab. 5 – Význam čtvrté číslice v základní značce ocelí třídy 17 [22]

### 5.5.2. Značení dle ČSN EN 10 027-1

Tato norma používá značky na základě chemického složení. Oceli se značí kombinací číslic a písmen. Korozivzdorné a žáruvzdorné oceli se značí Xnnna n-n.

X značí, že jde o oceli, kde obsah alespoň jednoho z legujících prvků je vyšší než 5 % nebo rovný 5 %. Dále nnn je střední obsah uhlíku x100, a jsou chemické značky legujících prvků, které danou ocel charakterizují a n-n jsou čísla, oddělená spojovací čárkou, která odpovídají střednímu obsahu příslušného prvku zaokrouhlenému na nejbližší vyšší číslo [22]

Například ocel X8CrNiMo 18-12-3 obsahuje 0,08 % uhlíku, 18 % chromu, 12 % niklu a 3 % molybdenu.

### 5.5.3. Značení dle ČSN EN 10 027-2

Korozivzdorné a žáruvzdorné oceli značíme podle této normy ve schématu 1.4XXX. Číslicí 1 je označována ocel, číslicí 4 je to upřesněno na korozivzdornou ocel. Třetí číslo upřesňuje obsah legujících prvků. Význam posledních dvou čísel spočívá v bližší specifikaci oceli. [17]

## 6. SKUPINY KOROZIVZDORNÝCH A ŽÁRUVZDORNÝCH OCELÍ

Možná rozdělení žáruvzdorných a korozivzdorných ocelí byla uvedena v kapitole 1. V této kapitole jsou rozebrány jednotlivé skupiny těchto ocelí (rozdělení dle struktury) a popsáno jejich využití, vlastnosti a tepelné zpracování.

### 6.1. Feritické oceli

Oceli z této skupiny obsahují 12 % - 30 % Cr, zatímco obsah uhlíku je pod 0,1 %. Při vyšších koncentracích je uhlík vyloučen ve formě karbidů, tyto karbidy poté mohou způsobit křehnutí oceli. [2]

V matici těchto ocelí převažuje  $\alpha$  ferit. Při ohřevu se ferit nepřeměňuje na austenit, takže při ochlazování nevzniká martenzit. Proto jsou tyto oceli nekalitelné. Na rozdíl od austenitických ocelí jsou magnetické. [18]

Vyšší obsah chromu má kladný dopad na korozní odolnost, která je v oxidačních prostředích vyšší než u kalitelných martenzitických ocelí. Feritické oceli s vyššími obsahy uhlíku jsou křehké a mají vysokou žáruvzdornost. Za vysokých teplot však dochází k popouštění křehkosti, která negativně ovlivňuje mechanické vlastnosti. [13]

Jejich pevnost lze zvyšovat tvářením za studena. Tepelné zpracování těchto ocelí spočívá v ohřevu na 750 °C - 900 °C a následném ochlazení na vzduchu nebo v oleji. Toto zpracování vede k získání dostatečné odolnosti vůči mezikrystalové korozi (protože obsah chromu na hranicích zrn se homogenizuje) a také k potlačení vlivu zpevnění za tepla i studena (s tímto zpevněním souvisí nárůst vnitřního pnutí). Zahřátí nad 900 °C by vedlo ke zhrubnutí zrna a u některých ocelí (s obsahem chromu nad 17%) k vytvrzování. [1]

Do některých ocelí z této skupiny se přidává molybden, což má za následek zvýšení kujnosti. [20]

Klady těchto ocelí jsou: [4]

- Přijatelná cena
- Vysoká žáruvzdornost (až 1100 °C)
- Dobrá korozivzdornost (i v prostředí se zvýšeným obsahem síry)
- Odolnost proti korozi pod napětím

Mezi jejich zápory patří: [4]

- Nízká mez kluzu
- Tranzitní chování
- Sklon k popouštěcí křehkosti

Příklady a využití některých feritických korozivzdorných a žáruvzdorných ocelí: [20]

- Ocel skupiny 409 – využívá se v automobilovém průmyslu (materiál pro výfuky, katalyzátory)
- Ocel skupiny 430 – využívána jako materiál pro kuchyňské vybavení (dřezy, příbory)
- 1.4509 (ocel skupiny 441) – využívána pro automobilový průmysl (materiál pro součásti blízko motoru, kvůli její nadprůměrné pevnosti a žáruvzdornosti)
- Nerezová ocel 3CR12 – využívána ve vysoce agresivních korozních prostředích (hutnictví nebo i cukrovarský průmysl)

Feritické oceli lze dále dělit do 4 podskupin:

#### **6.1.1. 13 % chromové feritické oceli**

Z hlediska chemického složení oceli z této podskupiny obsahují asi 11,5 % až 13,5 % Cr. Obsah uhlíku u nich nepřesahuje 0,8 %. [27]

Tyto oceli mají dobrou korozní odolnost v atmosféře, přírodní vodě i vodní páře, ve slabých organických kyselinách nebo i kyselině dusičné, pokud je zředěná. Naopak není vhodné je používat v značně znečištěných průmyslových vodách, mořské vodě a znečištěných průmyslových atmosférách. [17]

Využití nacházejí v chemickém průmyslu – potrubí čerpadel, sedla ventilů, výměňkové trubky, nádrže atd. Rovněž jsou využívány v potravinářském průmyslu. Nejlepší korozní odolnosti je u nich dosahováno, pokud je povrch kvalitní. [17]

#### **6.1.2. 17 % chromové feritické oceli**

Oceli z této podskupiny obsahují 16 % až 18 % chromu. Obsah uhlíku stejně jako u předchozí podskupiny je omezen na 0,8 %. Některé z těchto ocelí jsou legované molybdenem

a stabilizované titanem. Přísada molybdeny zvyšuje odolnost proti bodové korozi a korozní odolnost ve znečištěných atmosférách a také v mořské vodě. Stabilizace titanem má kladné dopady na odolnost vůči mezikrystalické korozi. [1,17]

Při ohřevu nad 900 °C mohou oceli s nízkým obsahem chromu (do 17%) porušit pravidlo neměnění své struktury na austenitickou a zasáhnout svým chemickým složením do oblasti feritu a austenitu. Austenit se při vychladnutí transformuje na martenzit a vzniklá ocel je feriticko-martenzitická (neboli poloferitická). [2,17]

Oceli z této podskupiny mají odolnost vůči atmosférické korozi, mořské vodě, kyselině dusičné. Odolávají i znečištěné průmyslové atmosféře. Použití nachází v potravinářském průmyslu (nádoby pro zpracování mléka, výrobu piva), automobilovém průmyslu, výrobě kuchyňských potřeb. [17]

### **6.1.3. 25 % chromové oceli**

Tyto oceli mají díky vyššímu obsahu chromu než oceli z jiných podskupin vysokou korozní odolnost, vyšší než oceli z předcházejících podskupin. Vysoký obsah chromu má ale i negativní následky v podobě vyšší náchylnosti ke křehnutí. Oceli z této podskupiny jsou využívány pro aplikace za vyšších teplot díky žáruvzdorným vlastnostem. [17]

### **6.1.4. Superferity**

Pojmem superferity jsou označovány feritické oceli s nízkým obsahem intersticiálních prvků – uhlíku a dusíku (jejich obsah je nižší než 0,01 %). Obsah chromu je asi 25 % až 29 %. [17]

Oceli z této podskupiny mají vyšší odolnost vůči mezikrystalické korozi, koroznímu praskání i rovnoměrné korozi. Mají dobrou svařitelnost, pevnostní hodnoty i vrubovou houževnatost. [17]

Superferity jsou levnější než austenitické oceli, a proto probíhá snaha jimi tyto oceli nahrazovat. V praxi jsou aplikované např. v tepelných výměnících. [17,2]

## **6.2. Martenzitické oceli**

Martenzitické korozivzdorné oceli obsahují kolem 12 % chromu, některé typy obsahují ale až kolem 18 % chromu. Tyto oceli nabízejí možnost kompromisu mezi korozní odolností a mechanickými vlastnostmi, což vede k možnostem jejich aplikování v situacích, kde jsou podobně důležité mechanické vlastnosti i korozivzdornost. Jinak je ale jejich korozní odolnost

v porovnání s jinými korozivzdornými oceli nízká, a proto je jejich použití možné jen v méně agresivních prostředích. [1]

Obsah uhlíku v těchto ocelích je mezi 0,1 % a 1 %. [2]

Tepelné zpracování spočívá v zahřátí na teplotu kolem 1000 °C a následném zakalení, což vede k fázové přeměně z austenitické struktury na martenzitickou. Následným zušlechťováním lze dosáhnout pevnosti v tahu kolem 2 000 MPa. [3]

Nejvyššího možného stupně korozní odolnosti je u těchto ocelí dosaženo zakalením a popouštěním při 200 °C až 350 °C. Další možná popouštěcí oblast je mezi 600 °C a 750 °C. Popouštěcí oblast 350 °C až 550 °C je nevyhovující, protože pak je nepříznivě ovlivněna korozní odolnost, navíc takové popouštění vede ke křehnutí. [1]

Tyto oceli jsou feromagnetické a jsou využívány tam, kde jsou kladeny velké důrazy na pevnost materiálu. Značky s nízkým obsahem uhlíku jsou těžko svařitelné (jde to jen za jistých podmínek), vysokoobsahové značky pak nelze svařovat vůbec. [20]

Hlavními výhodami tohoto typu ocelí jsou: [4]

- Přijatelná cena
- Možnost ovlivnění jejich vlastností pomocí tepelného zpracování
- Široká oblast pevnostních hodnot

Naopak mezi jejich nevýhody se řadí: [4]

- Sklon k popouštěcí křehkosti
- Sklon ke koroznímu praskání pod napětím
- Sklon k vodíkové křehkosti

V praxi jsou martenzitické korozivzdorné a žáruvzdorné oceli díky své vysoké pevnosti a tvrdosti využívány v chemickém a energetickém průmyslu, při výrobě nožů a chirurgických nástrojů, čerpadel a kuličkových ložisek. Mezi obvyklé jakosti tohoto typu ocelí se řadí: [20]

- Ocel skupiny 410 – využívá se v mírném korozním prostředí
- Ocel skupiny 420 – je základní průmyslová varianta

- Ocel skupiny 420C – tepelně upravená jakost, která se využívá pro její vyšší tvrdost (např. nože)
- Ocel skupiny 431 – Velmi antikorozi a tvrdá ocel, využití např. při výrobě pump

Martenzitické oceli se dělí do 3 podskupin:

### **6.2.1. Martenzitické oceli s niklem**

Nikl je do tohoto typu ocelí přidáván proto, aby byla rozšířena oblast  $\gamma$  a ve struktuře se nevyskytoval ferit  $\alpha$ . Díky tomu mohou tyto oceli obsahovat více chromu než jiné typy martenzitických ocelí. Konkrétně obsahují až 18 % Cr, 2 % – 4 % Ni a asi 0,8 % C. [2]

Oproti martenzitickým ocelím bez Ni mají tyto oceli vyšší pevnostní vlastnosti, plastické vlastnosti, vyšší mez únavy a svařitelnost. Základní značka chromniklové martenzitické oceli je X3CrNiMo13-4. [2]

V praxi se využívají především pro stavbu vodních zdrojů, například lopatek parních turbín, ale obecně i dalších součástí, které přicházejí do styku s mořskou vodou, případně párou. [17]

### **6.2.2. Martenzitické oceli bez niklu**

Základní varianty těchto ocelí obsahují 0,15 % a 0,45 % uhlíku a 13 % chromu. Jsou ale i značky s vyššími obsahy uhlíku – 0,95 % až 1,20 %. Značky s vyššími obsahy uhlíku mají zároveň i vyšší obsah chromu, konkrétně 17 % – 19 %. Tyto značky jsou legovány molybdenem, což zvyšuje odolnost vůči rovnoměrné a bodové korozi. [2, 17]

Při kalení těchto ocelí je nutné dbát na to, aby kalicí teplota byla o 100 až 200 °C vyšší, než je teplota  $A_{c3}$  (jejíž hodnota je 911 °C). Při nižších teplotách by nedošlo k rozpuštění dostatečného množství uhlíku, který je vázaný na karbidy chromu, takže by ocel měla nižší tvrdost. Oceli s vyššími obsahy uhlíku je doporučováno kalit nadvakrát – při prvním kalení se zvolí vyšší kalicí teplota (nad 1000 °C) z důvodu rozpuštění co nejvyššího množství karbidů (díky tomu je poté ve struktuře více zbytkového austenitu). Při druhém kalení pak dojde k vyloučení jemných karbidů ze zbytkového austenitu, přičemž tyto jemné karbidy se snadněji rozpustí. [2]

Značky s nižším obsahem uhlíku jsou využívány v podmínkách s nižší korozní agresivitou. Využití nacházejí jako lopatky vodních turbín, součásti čerpadel, potrubí v chemickém a energetickém průmyslu. Značky s vyšším obsahem uhlíku nacházejí využití

v chemickém průmyslu (otěruvzdorné konstrukční díly), dále jako materiál pro chirurgické nástroje nebo nože. [17]

### **6.2.3. Supermartenzity**

Supermartenzitické oceli obsahují jen velmi málo uhlíku (pod 0,015 %), dále pak 11 % až 13 % chromu, 5,5 % – 6,5 % niklu, 2 % molybdenu a velice nízký obsah síry. Přítomnost chromu zaručuje korozní odolnost, nikl korozní odolnost dále zvyšuje a navíc zlepšuje houževnatost oceli, molybden pozitivně ovlivňuje odolnost vůči koroznímu praskání. Pro optimalizování struktury a zvýšení korozní odolnosti jsou do supermartenzitických ocelí přidávány i přísady mědi, titanu, dusíku a vanadu. [17]

Struktura je tvořena martenzitem bez feritu  $\delta$ . Tyto oceli jsou dobře svařitelné, mají zlepšenou houževnatost a vysokou pevnost. [17]

Využívají se např. na potrubí pro transport a těžbu vysoce agresivních plynů (obsahujících  $H_2S$  nebo  $CO_2$ ). [17]

## **6.3. Austenitické oceli**

Mezi austenitické oceli řadíme takové oceli, ve kterých je za normálních teplot přítomná pouze austenitická fáze, nebo je alespoň v převaze. Velký podíl na udržení austenitické struktury po ochlazení z teploty rozpouštěcího žíhání má nikl, kterého je v těchto ocelích 8 % až 20 %. Austenitické oceli ale obsahují i další austenitotvorné prvky, jako mangan, dusík nebo uhlík. Chromu je v těchto ocelích 17 % až 25 %, uhlíku maximálně 0,12 %. [1, 27]

Austenitické oceli mají ze tří základních skupin nejvyšší korozní odolnost. Kvůli velkému podílu niklu se jim také říká austenitické chrom-niklové oceli. Velký obsah niklu se ale negativně podepisuje na jejich vysoké ceně. Proto je nikl u některých ocelí nahrazen manganem, který sice má horší korozivzdorné a žáruvzdorné vlastnosti, ale je levnější. Takovým ocelím se říká chrom-manganové. [1, 27]

Austenitické oceli nelze vytvrdit teplem a obvykle jsou nemagnetické. Jejich snadné čištění je předurčuje k aplikacím v domácnostech a v místech, kde je důležité dbát na hygienu. Navíc se velmi dobře tvarují a svařují a lze je využívat ve velkém spektru teplot. [20]

V případě, že jsou tyto oceli po tepelném zpracování nebo sváření pomalu ochlazovány, může dojít v teplotách 800 °C až 600 °C k vylučování karbidů po hranicích zrn, což má za následek mezikrystalovou korozi vlivem ochuzení zasažených oblastí o chrom. [18]



Proto jsou austenitické oceli používány ve stavu po rozpouštěcím žíhání na teploty 950 °C až 1100 °C, po kterém následuje rychlé ochlazení (nejčastěji ve vodě). [2]

Výhody austenitických ocelí jsou: [27]

- Výborná svařitelnost
- Vysoká houževnatost
- Výborná žáruvzdornost (1150 °C)
- Žárupevnost (750 °C)

Mezi hlavní nevýhody potom patří: [7]

- Vysoká cena
- Nižší mez kluzu
- Špatná tepelná vodivost
- Obtížná obrobiteľnosť
- Nejsou feromagnetické (jen paramagnetické)
- Sklon ke koroznímu praskání pod napětím

Austenitické oceli nacházejí využití například v chemickém průmyslu, jako součásti keramických i sklářských pecí. Také se využívají na topné opory, kuchyňské náčiní, dřezy nebo chirurgické nástroje. [4, 20]

#### **6.4. Dvoufázové oceli**

Dvoufázové oceli jsou nazývány také duplexní oceli nebo i austeniticko-feritické oceli. Obsahují 30 % až 50 % feritu a jejich význam spočívá ve snaze o kombinování výhod austenitických a feritických ocelí. [2, 18]

Oproti klasickým austenitickým ocelím je v těchto ocelích zvýšený obsah chromu a snížený obsah niklu. Konkrétně je v nich 20 % – 30 % chromu, 2,5 %– 7 % niklu a poté v menším množství i další prvky, mezi nejvýznamnější patří například titan a molybden. [1, 27]

Tepelné zpracování se moc neliší od austenitického. Je provedeno rozpouštěcí žíhání a poté rychlé ochlazení ve vodě. Vzhledem k vysoké chemické heterogenitě (vlivem vysokých koncentrací legur) je potřeba zvýšit teplotu rozpouštěcího žíhání až na 1200 °C. [2]

Duplexní oceli začaly být využívány kolem roku 1930. První takovéto oceli (např. ocel typu S32900) měly velmi dobré korozivzdorné vlastnosti díky vysokému obsahu chromu a molybdenu, ale při svařování se optimální vyvážení austenitu a feritu ztratilo, čímž znatelně poklesly jejich korozivzdorné vlastnosti i houževnatost. Protože tyto „duplexní oceli“ nesplňovaly kritéria, která musí dvoufázové oceli splňovat, byly zahrnuty mezi austenitické oceli. Kolem roku 1970 se tento problém začal řešit přidáváním dusíku mezi prvky, které jsou v duplexních ocelích obsaženy. [28]

Mezi hlavní výhody dvoufázových ocelí patří: [1, 4, 18]

- Vysoká mez kluzu
- Dobrá houževnatost (lepší než u feritických ocelí, ale horší než u austenitických) a plasticita
- Lepší mechanické vlastnosti a také obrobiteľnosť než u austenitických ocelí
- Vysoká odolnosť voči mezikrystalovej korozi a koroznímu praskání
- Protože obsahují méně niklu než austenitické oceli, tak je jejich cena přijatelná

Hlavní nevýhodou duplexních ocelí je, že nejdou používat v teplotách vyšších než 700 °C, protože může docházet k jejich zkrěhnutí. [20]

Duplexní oceli se využívají například v chemickém a petrochemickém průmyslu. Také jsou využívány v přímořských oblastech nebo přímo na moři (zejména při mírně zvýšených teplotách), například jako materiál pro mosty. Také jsou využívány v odsolovacích zařízeních nebo výměnících tepla. [4, 20]

Mezi používané jakosti patří např. [20]

- S32550 – je velmi pevná, odolná vůči abrazi a je vhodná pro svařování
- S31803/S32205 – velká pevnost a odolnost vůči korozi, proto je využívána ve vysoce korozních prostředí – výměnících tepla, rafinériích, plynových čističích
- S32304 – využívána pro stavbu lodí, v těžebním průmyslu, v chemickém průmyslu (při práci s kyselinou dusičnou)

## **6.5. Precipitačně vytvrditelné oceli**

Precipitačně vytvrditelné oceli nejsou skupinou, která by měla jiné strukturní složení než výše rozebrané skupiny ocelí. Přesto se od nich ale liší – a to v tom, že požadovaných mechanických vlastností se u nich dosahuje za pomoci vytvrzování. Výrobek se nejprve obrobí (v poměrně měkkém stavu), a až poté se provádí vytvrzování popouštěním (za poměrně nízkých teplot – asi 400 °C až 500 °C). [1, 18]

Popouštěcí vytvrzování se provádí tak, aby nedocházelo u výrobku ani k deformaci ani k přílišné oxidaci. U precipitačně vytvrditelných ocelí je vytvrzování posledním stupněm tepelného zpracování. [1]

Mezi výhody těchto ocelí patří především velmi dobré mechanické vlastnosti a současná dobrá korozní odolnost. Některé tyto oceli se řadí mezi žárovevné. Další výhodou je to, že vytvrzování se provádí za nižších teplot a až po obrábění. [4]

Precipitačně vytvrditelné oceli jsou legovány mědí nebo hliníkem. Mají velmi nízký obsah uhlíku a jsou zpevněny intermediárními fázemi, jichž je dosaženo legováním molybdenem, mědí, hliníkem, titanem, niobem a vanadem. [4]

V praxi se tyto oceli používají se na pancíře nebo při stavbě turbín, dále v kosmickém a leteckém průmyslu (především na součásti pracující za vyšší teploty), nebo i na nástroje k lisování gumy a plastů. Díky svým dobrým mechanickým, korozivzdorným i žárovevným vlastnostem se rozšiřují i do dalších oblastí strojírenství. [2, 18]

Existují dvě skupiny precipitačně vytvrditelných ocelí:

### **6.5.1. Martenzitické precipitačně vytvrditelné oceli**

U tohoto typu se při tepelném zpracování nejdříve provede kalení z teplot 1 050 °C, při němž je dosaženo martenzitické struktury. Následně je provedeno vytvrzování v martenzitu. [18]

Mají výborné mechanické vlastnosti (pevnost 1 300 MPa – 1 500 MPa) a dobrou korozní odolnost. [2]

### **6.5.2. Austenitické precipitačně vytvrditelné oceli**

U tohoto typu se na rozdíl od předchozího nedosáhne martenzitické struktury, proto jsou vytvrzovány přímo z austenitu. Jsou to vlastně austenitické oceli obsahující precipitačně vytvrzující prvky – a to v takovém rozsahu, aby se při teplotách kolem 700 °C z austenitu vylučovaly karbidy a nitridy. [18]

I tento typ má dobrou pevnost (1 400 MPa), vysokou mez kluzu (1 250 MPa) a tažnost nad 10 %. Jejich korozní odolnost je srovnatelná s austenitickými oceli. [2]

## ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo pojednat o korozivzdorných a žáruvzdorných ocelích, definovat je, popsat jejich vlastnosti a chemické složení, zabývat se jejich tepelným zpracováním a výslednou strukturou jednotlivých skupin. Zároveň měla práce popsat jejich využití v praxi, ve kterých oborech se využívají a kde přesně se aplikují.

Význam korozivzdorných a žáruvzdorných ocelí úzce souvisí s korozí, proto byl tento pojem definován a vysvětlen na začátku práce. Bylo pojednáno o jejích typech, významu rozšiřování znalostí o ní, různých druzích korozního napadení i o hlavních činitelích, které korozi ovlivňují. Stručně byl zmíněn historický vývoj využívání kovových materiálů.

Následně se již práce zaměřuje na samotné korozivzdorné a žáruvzdorné oceli, na jejich chemické složení i význam nejdůležitějších legujících prvků. Nakonec byly rozebrány jednotlivé skupiny těchto ocelí, a to z hlediska tepelného zpracování, použití v praxi i strukturního složení.

Korozivzdorné a žáruvzdorné oceli jsou využívány v mnoha odvětvích a plní významnou roli tam, kde je potřeba bojovat proti korozi a není možné to provést jinými metodami, jako například náhradou materiálu nebo úpravou prostředí. Poznatky o nich jsou neustále rozšiřovány. Je ale potřeba pamatovat, že jejich korozivzdorné ani žáruvzdorné vlastnosti nejsou stoprocentní, že na různá korozní prostředí a na různé podmínky bude reagovat každá ocel jinak a že je tudíž potřeba dbát i na správnou volbu oceli v dané situaci.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ČERNÝ, Miroslav. *Korozní vlastnosti kovových konstrukčních materiálů*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1984
- [2] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002. ISBN 80-7204-248-3
- [3] ČÍHAL, Vladimír. *Mezikrystalová koroze ocelí a slitin: vysokoškolská příručka pro vysoké školy technické*. 3., přeprac a dopln. vyd. Praha: SNTL, 1984.
- [4] NĚMEC, Ing. Karel. *Korozivzdorné a žáruvzdorné oceli* [online]. , 25 [cit. 2017-03-11]. Dostupné z: [http://ime.fme.vutbr.cz/images/umvi/vyuka/struktura\\_a\\_vlastnosti\\_materialu/prednasky/06%20-%20Korozivzdorne%20a%20zaruvzdorne%20oceli.pdf](http://ime.fme.vutbr.cz/images/umvi/vyuka/struktura_a_vlastnosti_materialu/prednasky/06%20-%20Korozivzdorne%20a%20zaruvzdorne%20oceli.pdf)
- [5] *Učíme v prostoru: Encyklopedie - drtič kamene* [online]. [cit. 2017-03-11]. Dostupné z: [http://uvp3d.cz/drtic/?page\\_id=2652](http://uvp3d.cz/drtic/?page_id=2652)
- [6] DILLINGER, Josef. *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. 1. Vydání. Praha: Europa Sobotáles cz. s.r.o., 2007. 612 s. ISBN 987-80-86706-19-1
- [7] *Letecké konstrukční oceli* [online]. [cit. 2017-03-17]. Dostupné z: <http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/matlet/OCELI.pdf>
- [8] *History of Gold* [online]. [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: <http://www.gold-eagle.com/article/history-gold>
- [9] *History of Metallurgy* [online]. [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: <http://www.historyworld.net/wrldhis/PlainTextHistories.asp?historyid=ab16>
- [10] *The Cost of Corrossion* [online]. [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: <http://akiet.com/news/the-cost-of-corrosion>
- [11] *Koroze a ochrana před korozí* [online]. [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: <http://jhamernik.sweb.cz/Koroze.htm>
- [12] ČAMEK, Libor. *Slévárenství ocelových odlitků: studijní opory* [online]. [cit. 2017-03-25]. Dostupné z: <http://www.fmfi.vsb.cz/>.
- [13] *Vlastnosti materiálu* [online]. [cit. 2017-03-25]. Dostupné z: [http://www.sps-vitkovice.cz/texty/texty/ZAV/ZAV1-Vlastnosti\\_materialu\\_GEI.pdf](http://www.sps-vitkovice.cz/texty/texty/ZAV/ZAV1-Vlastnosti_materialu_GEI.pdf)

- [14] *Vševěd: Encyklopedie v pohybu* [online]. [cit. 2017-03-25]. Dostupné z: <http://encyklopedie.vseved.cz>
- [15] *Masteel: High quality pressure vessel Steel for the Oil* [online]. [cit. 2017-03-25]. Dostupné z: <http://www.masteel.co.uk>
- [16] *Endepie: Portál na podporu veřejné informovanosti v oblasti jaderné energetiky* [online]. [cit. 2017-03-26]. Dostupné z: [http://enpedie.cz/wiki/Korozn%C3%AD\\_prask%C3%A1n%C3%AD](http://enpedie.cz/wiki/Korozn%C3%AD_prask%C3%A1n%C3%AD)
- [17] *Korozivzdorné oceli jako konstrukční materiály* [online]. [cit. 2017-03-26]. Dostupné z: [https://www.opi.zcu.cz/korozivzdorne\\_oceli\\_3.pdf](https://www.opi.zcu.cz/korozivzdorne_oceli_3.pdf)
- [18] *Bolzano: Charakteristika skupin korozivzdorných ocelí* [online]. [cit. 2017-03-26]. Dostupné z: <http://www.bolzano.cz>
- [19] *Tumlikovo: Metal Cutting Technologies* [online]. [cit. 2017-03-26]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz>
- [20] *Fasteners: Spojovací materiál* [online]. [cit. 2017-03-27]. Dostupné z: <http://www.fasteners-cz.cz/druhy-nerezove-oceli-priklady-jejeho-uziti>
- [21] *Ferona a.s.: hutní materiál, velkoobchod s hutním materiálem* [online]. [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://www.ferona.cz/cze/katalog/oceli.php>
- [22] *ÚMVI: Ústav materiálových věd a inženýrství* [online]. [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://ime.fme.vutbr.cz/>
- [23] [www.dalago.cz](http://www.dalago.cz)
- [24] [www.journeyboost.com](http://www.journeyboost.com)
- [25] <http://www.calphad.com/iron-chromium.html>
- [26] *OK Univerzal: ocelové konstrukce, zámečnické výrobky* [online]. [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: <http://okuniverzal.infonia.com/>
- [27] Podklady ze cvičení 3SV
- [28] *Encyclopedia of corrosion technology*. 2nd ed., rev. and expanded. New York: M. Dekker, c2004. Corrosion technology (New York, N.Y.), 20. ISBN 08-247-4878-6.
- [29] REVIE, R. Winston a Herbert Henry UHLIG. *Corrosion and corrosion control: an introduction to corrosion science and engineering*. 4th ed. Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience, c2008. ISBN 978-0-471-73279-2.

[30] DAVIS, J. R. *Corrosion: understanding the basics*. Materials Park, Ohio: ASM International, 2000. ISBN 978-0-87170-641-6.



## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

$V_M$	Molární objem korozní zplodiny [ $m^3$ ]
$V$	Atomový objem kovu [ $m^3$ ]
PB číslo	Pillingovo-Bedworthovo číslo [-]
$\eta$	Hodnota přepětí [V]
$E$	Potenciál elektrody [V]
$E_r$	Rovnovážný potenciál [V]
$j$	Elektrický proud [A]
$\alpha$	Ferit
$\gamma$	Austenit
$\sigma$	Křehká nemagnetická fáze, která se vylučuje od teplot 820 °C do asi 500 °C
HB	Tvrdost podle Brinella [-]
$R_{p\,0,2}$	Smluvní mez kluzu pro předepsanou plastickou deformaci (0,2 %) [MPa]
$R_m$	Mez pevnosti v tahu [MPa]
$Cr_{ekv}$	Chromový ekvivalent (ekvivalent chromu) [%]
$Ni_{ekv}$	Niklový ekvivalent (ekvivalent niklu) [%]
$A_{c3}$	Kritická teplota, při které dochází k překrystalizaci feritu $\alpha$ na austenit $\gamma$ [°C]